基于现代天文行星历表的殷卜辞月食记载研究[1]

马利华[1]，韩延本[1]，乔琪源[1]，孙希宗[2]

1. 中国科学院国家天文台，北京 100101；2. 山东省潍坊第一中学，潍坊，261205

摘要：殷卜辞中有 5 次纪日月食记载是目前已知的可为殷商时期天文定年的最确凿的材料，夏商周断代工程研究给出了这 5 次殷卜辞月食的发生日期。本文作者利用美国航空航天局（NASA）喷气推进实验室（JPL）发布的现代天文行星历表 DE422，解算这 5 次月食的主要参数，研究它们在地球表面的可观测情况，进一步确认这 5 次月食在殷都安阳的可视性。研究结果支持夏商周断代工程给出的 5 次月食的发生日期，并可为殷卜辞月食的深入研究提供一定的参考。

关键词：殷卜辞；现代天文行星历表；月食

中图分类号：P1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**

我国是世界上天文学发展最早的国家之一，早在三千多年前就有可考的关于星象的文字记载。这些古代天象记载不仅对于历史研究和古代天文学研究有重要价值，在现代天文学研究中也起着重要的作用[1]。殷卜辞是甲骨文的主要内容之一，是研究殷商社会历史的重要资料。经过几代学者近百年来的努力，已确认在殷卜辞中记录了 5 次有纪日干支的月食记载。中外学者对这些月食的发生年代做了推算和论证，有 30 多种不尽相同的结论[2]。结合新的殷墟甲骨分期，历史学家和考古学家研究认为，这 5 次殷卜辞月食都在武丁中期后半段到武丁末年或可延伸到祖庚之世，应在 30 年左右的时间跨度内。张培瑜[3]在该年代范围内找到殷都安阳可见的既符合卜辞干支时刻又符合先后位序的 5 次月食，分别为公元前 1201 年 7 月 12 日（癸未夕月食）、公元前 1198 年 11 月 4 日（甲午夕月食）、公元前 1192 年 12 月 27 日（己未夕皿庚申月食）、公元前 1189 年 10 月 25 日（壬申夕月食）和公元前 1181 年 11 月 25 日（乙酉夕月食）。该项研究被列为夏商周断代工程的重要成果之一[4]。

天文行星历表对于天文学和地球科学及其他相关学科领域都具有重要的实用价值。美国航空航天局（NASA）喷气推进实验室（JPL）发布的 DE 系列现代天文行星历表已经在天体测量、深空导航、行星际探测等方面得到较为广泛的

[1]收稿日期：2020-10-；　修订日期：
作者简介：马利华，男，研究员，博士，研究方向：应用天文学. E-mail：mlh@nao.cas.cn

应用。2009 年 9 月 JPL 发布 DE422 行星历表[5]，数据跨度自公元前 3001 年 12 月 7 日至公元 3000 年 1 月 30 日。该历表可以满足有关学者对古代天象记载研究的基本需求。本文利用 DE422 行星历表对这 5 次殷卜辞月食进行计算，研究它们的在地球表面的可观测情况，并重点考察殷都安阳对这 5 次月食的可视性。

1　世界时改正数

现代天文行星历表 DE422 的时间系统采用地球动力学时（TDT）。由于地球自转的长期变化，以地球自转为基础的世界时（UT）与 TDT 的时刻之间存在一个差值，即世界时改正数（ΔT）。利用古代的天象记载情况可以推算古代的 ΔT 数值，反之，已知古代某天象发生年代的 ΔT 数值，可以推算该天象在当时的可观测情况[6-8]。Morrison 和 Stephenson 综合古代的若干天象记载，并设定月球轨道运动的加速度为−26.0 角秒/(百年)^2，得出公元前 501 年之前的 ΔT 拟合公式为 [−20+32×(year−1820)^2/100^2]秒[7]。以下分别计算相应于公元前 1201 年 7 月 12 日、公元前 1198 年 11 月 4 日、公元前 1192 年 12 月 27 日、公元前 1189 年 10 月 25 日和公元前 1181 年 11 月 25 日的 ΔT。考虑到 DE422 行星历表中月球轨道运动的加速度为−25.85 角秒/(百年)^2 [9]，因此，在本项研究中需要对 ΔT 加入改正量。改正后的 ΔT 值列于表 1。考虑到 ΔT 的测定依赖于古代的天象记载，公式得到的 ΔT 存在误差[10]。表 1 同时列出了 ΔT 的误差范围，以及该误差引起的地面点经度变化。

表 1 相应于殷卜辞 5 次月食时刻的世界时改正数

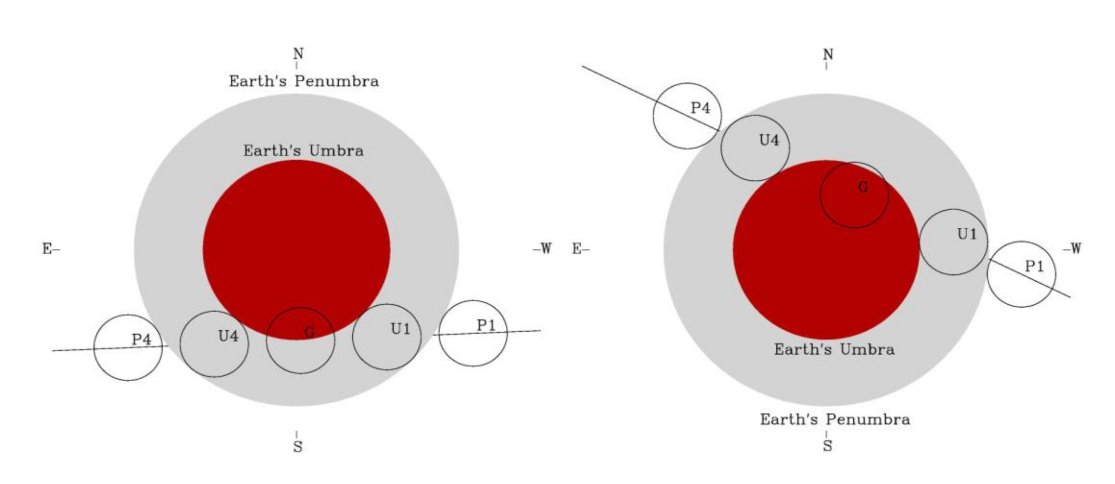
Table 1 The UT corrections of the 5 lunar eclipses date in the Yin period oracle bone inscription

日期	世界时改正数 ΔT（秒）	ΔT 误差范围（秒）	ΔT 误差引起的经度变化（度）
公元前 1201 年 7 月 12 日	29018	±1064	±4.43
公元前 1198 年 11 月 4 日	28955	±1057	±4.40
公元前 1192 年 12 月 27 日	28837	±1042	±4.34
公元前 1189 年 10 月 25 日	28783	±1035	±4.31
公元前 1181 年 11 月 25 日	28628	±1016	±4.23

2　基于 DE422 的殷卜辞月食的计算

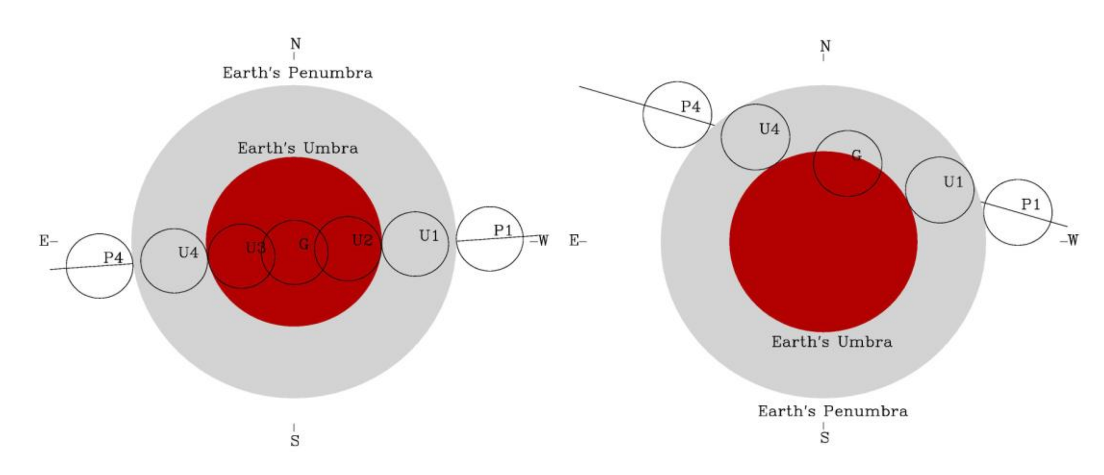
2.1 殷卜辞月食的概况图

月食是地球运动到太阳和月球中间时，月球正好落入地球身后黑影的特殊天文现象。在月食过程中，如果整个月面全部进入地球本影，称为月全食；如果月面只有一部分进入地球本影，称为月偏食。另外，月面进入地球半影里的食，称为半影月食。人们通常关注月全食和食分较大的月偏食。月全食有半影食始、初亏、食既、食甚、生光、复圆、半影食终七个食相过程。月偏食只有半影食始、初亏、食甚、复圆、半影食终五个食相过程。根据日、月和地球的几何位置关系，可以计算月食各食相的发生时刻[11]。这些食相可以通过月食概况图展示出来。图 1 给出了公元前 1201 年 7 月 12 日、公元前 1198 年 11 月 4 日、公元前 1192 年 12 月 27 日、公元前 1189 年 10 月 25 日和公元前 1181 年 11 月 25 日共 5 次月食的概况图。



(a) 公元前 1201 年 7 月 12 日月偏食
(a) The partial lunar eclipse on July 12, 1201 BCE

(b) 公元前 1198 年 11 月 4 日月偏食
(b) The partial lunar eclipse on November 4, 1198 BCE

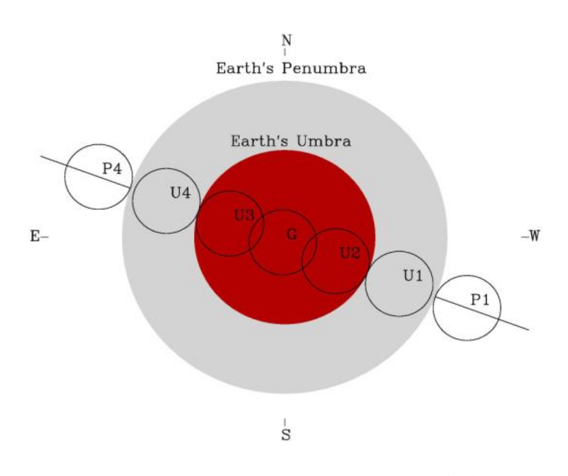


(c) 公元前 1192 年 12 月 27 日月全食

(c) The total lunar eclipse on December 27, 1192 BCE

(d) 公元前 1189 年 10 月 25 日月偏食

(d) The partial lunar eclipse on October 25, 1189 BCE



(e) 公元前 1181 年 11 月 25 日月全食

(e) The total lunar eclipse on November 25, 1181 BCE

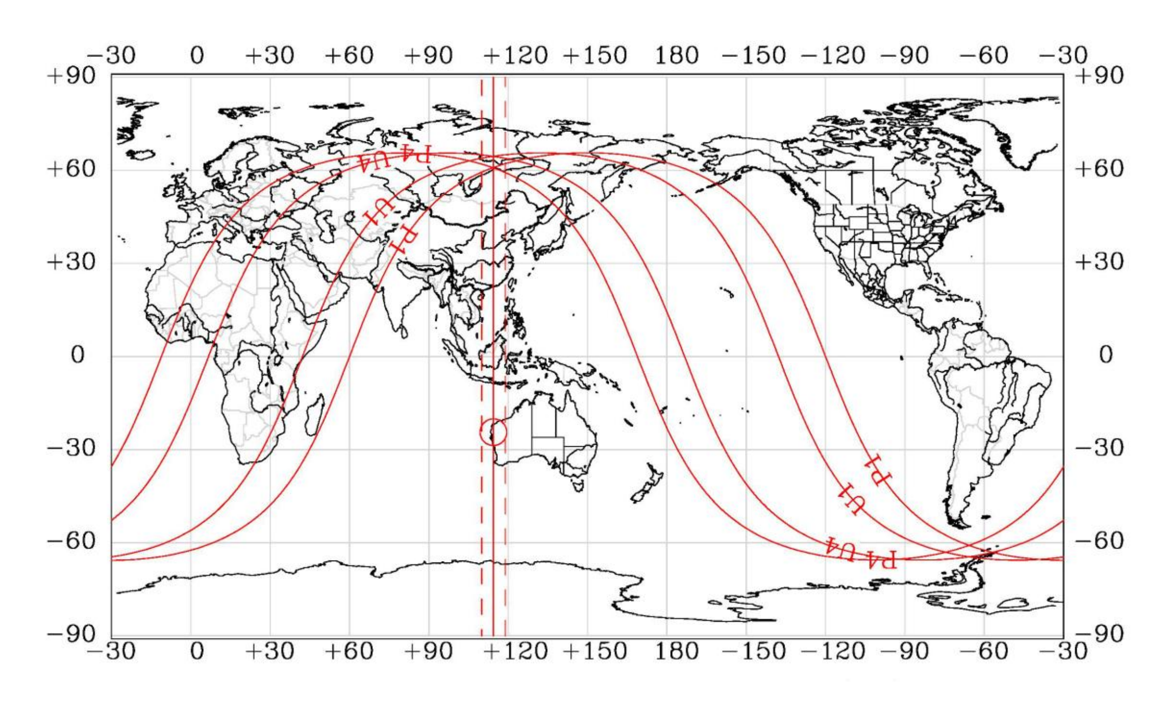
图 1 殷卜辞 5 次月食的概况图

Fig. 1 Overview of the 5 lunar eclipses date in the Yin period oracle bone inscription

在月食概况图中，用 P1 和 P4 分别标出半影食始和半影食终两个食相时刻的月心位置，用 U1、U2、G、U3、U4 分别标出初亏、食既、食甚、生光、复圆五个食相时刻的月心位置。显见，发生于公元前 1201 年 7 月 12 日、公元前 1198 年 11 月 4 日、公元前 1189 年 10 月 25 日的 3 次月食的为月偏食，发生于公元前 1192 年 12 月 27 日和公元前 1181 年 11 月 25 日的 2 次月食为月全食。

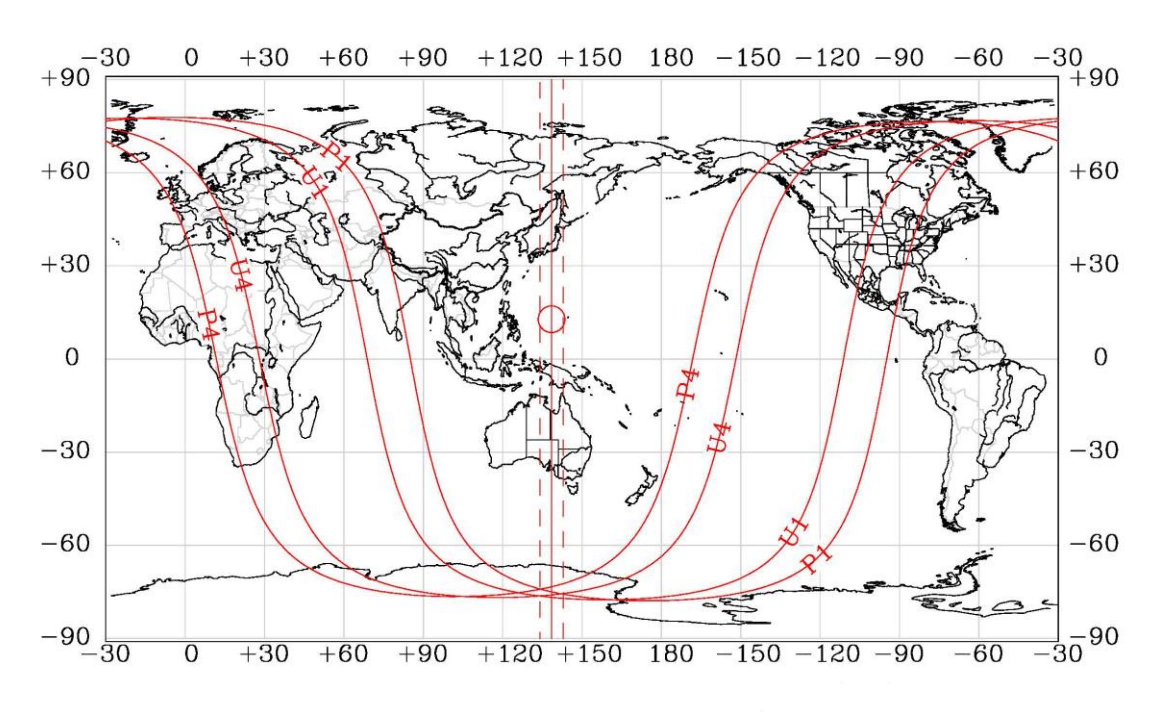
2.2 殷卜辞月食的可观测情况

考虑了世界时改正数 ΔT 后，分别计算每次月食的各个食相时刻在地面观测月球的高度角，可以得到地面对各食相的可视性。以下分别计算这 5 次殷卜辞月食的可视情况，并采用圆柱投影分别绘于图 2 的 5 个子图。



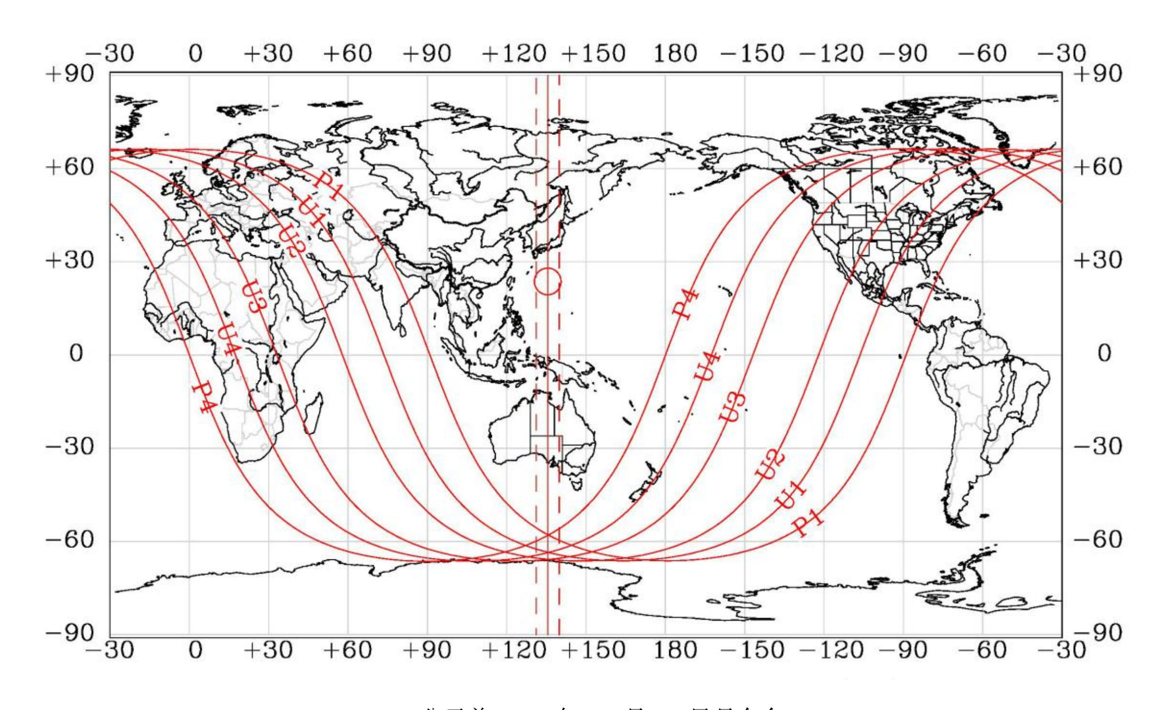
(a) 公元前 1201 年 7 月 12 日月偏食


(a) The partial lunar eclipse on July 12, 1201 BCE



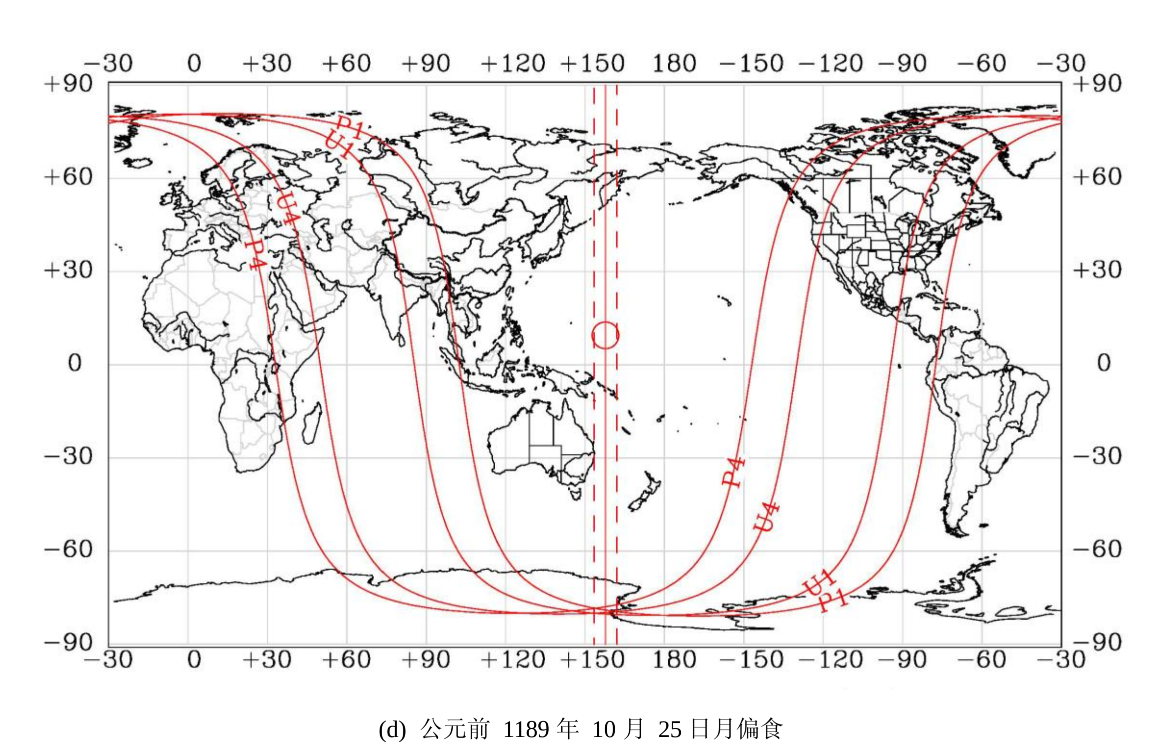
(b) 公元前 1198 年 11 月 4 日月偏食

(b) The partial lunar eclipse on November 4, 1198 BCE



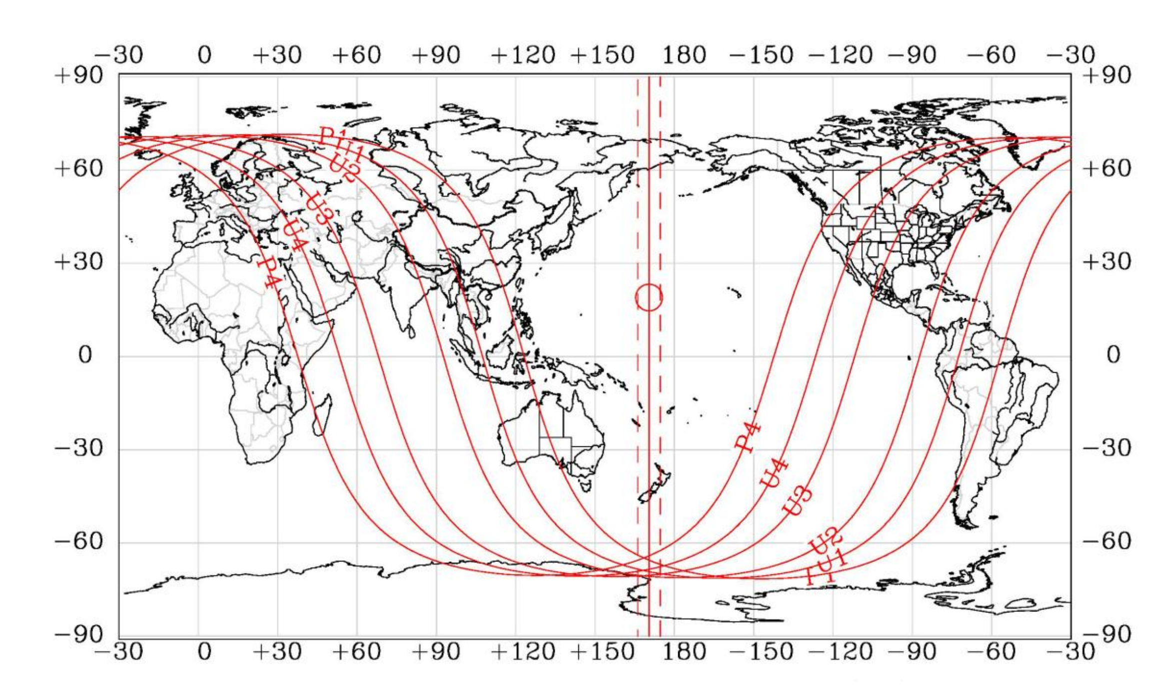
(c) 公元前 1192 年 12 月 27 日月全食

(c) The total lunar eclipse on December 27, 1192 BCE



(d) 公元前 1189 年 10 月 25 日月偏食

(d) The partial lunar eclipse on October 25, 1189 BCE



(e) 公元前 1181 年 11 月 25 日月全食

(e) The total lunar eclipse on November 25, 1181 BCE

图 2 殷卜辞 5 次月食的地面可视性

Fig. 2 The visibility of the 5 lunar eclipses in the Yin period oracle bone inscription

在上图中，红色曲线为各食相时刻地面可视高度角为零的等高线，对应月出和月落的边界。红色圆圈为月球在最大食时刻的地面投影点，红色竖实线为可观测到最大食的地面子午线。红色竖虚线为 ΔT 误差引起的最大食子午线的经度变化。与红色竖线相对的地球另一侧为月食不可见区域。

2.3 殷卜辞月食在安阳的见食情况

殷墟是中国商朝晚期都城遗址，是中国历史上第一个有文献可考、并为考古学和甲骨文所证实的都城遗址，位于今河南省安阳市西北殷都区小屯村周围。以下计算该地（36 º.13N，114 º.33E）对以上 5 次殷卜辞月食的见食情况，结果列于表 2。表列中“地方时”为世界时加上当地经度除以 15 得到，时间之前用“−1”标出为上一天的时间，用“+1”标出为下一天的时间。

表 2 安阳见食情况统计表

Table 2 Statistics table of lunar eclipse observations in Anyang

日期	食相	地球动力学时 (hh:mm:ss)	地方时 (hh:mm:ss)	食分	日出地方时 (hh:mm:ss)	日落地方时 (hh:mm:ss)
公元前 1201 年 7 月 12 日	半影食始	(-1)21:57:14	(-1)21:30:56	/	4:38:11	19:16:46
	初亏	(-1)23:11:23	(-1)22:45:04	/		
	食甚	0:25:26	(-1)23:59:08	0.49		
	复圆	1:39:22	1:13:03	/		
	半影食终	2:53:39	2:27:20	/		
公元前 1198 年 11 月 4 日	半影食始	20:07:37	19:42:21	/	6:21:14	17:17:46
	初亏	21:15:15	20:49:59	/		
	食甚	22:39:33	22:14:17	0.71		
	复圆	24:03:47	23:38:31	/		
	半影食终	(+1)1:11:32	(+1)0:46:16	/		
公元前 1192 年 12 月 27 日	半影食始	19:57:07	19:33:49	/	7:14:32	16:54:11
	初亏	21:09:07	20:45:49	/		
	食既	22:14:04	21:50:46	/		
	食甚	23:05:25	22:42:07	1.65		
	生光	23:56:46	23:33:29	/		
	复圆	(+1)1:01:44	(+1)0:38:26	/		
	半影食终	(+1)2:13:38	(+1)0:50:20	/		
公元前 1189 年 10 月 25 日	半影食始	18:56:08	18:33:45	/	6:11:35	17:28:54
	初亏	20:06:41	19:44:17	/		
	食甚	21:20:36	20:58:12	0.52		
	复圆	22:34:27	22:12:03	/		
	半影食终	23:45:05	23:22:41	/		
公元前 1181 年 11 月 25 日	半影食始	17:32:31	17:12:42	/	6:45:11	16:58:01
	初亏	18:37:38	18:17:49	/		
	食既	19:38:48	19:18:59	/		
	食甚	20:29:38	20:09:49	1.74		
	生光	21:20:27	21:00:38	/		
	复圆	22:21:36	22:01:47	/		
	半影食终	23:26:53	23:07:04	/		

可以看出，这 5 次殷卜辞月食都发生在安阳当地夜间，每次月食的各个食相都出现在日落之后和日出之前的一段时间内。其中，公元前 1181 年 11 月 25 日月食的初亏时间最早为 18:18（当地日落时间 16:58），公元前 1201 年 7 月 12 日月食的复圆时间最晚为 1:13（当地日出时间 4:38）。这些月食的食分在 0.49 到 1.74 之间（食分大于 1 的情形，为月面深入到地球本影以内）。如果当夜不是阴雨天，这些月食造成的天空亮度变化及月球发光部分形态的变化也是非常明

显的，可以初步推测古人有可能会注意到这 5 次月食现象，并会引起当时古人的注意，甚至能造成古人的恐慌。需要指出的是，计算表 2 所列的时刻值时使用了表 1 中的 ΔT 值。因为 ΔT 存在误差，所以表 2 中安阳见食的时刻值也存在误差。

3 小结

本文利用美国 JPL 发布的现代天文行星历表 DE422，计算了殷卜辞中 5 次纪日月食的有关参数，给出各食相的地面可视性和殷都安阳的见食情况。结果表明，安阳对这些月食具有实际可观测到的天文条件，支持夏商周断代工程得到的殷卜辞月食的初步结果。当然，年代学研究需要天文学、历史学、考古学，乃至同位素测年等多学科交叉，开展更深入的研究和综合分析。本文结果可为殷卜辞月食的深入研究提供一定的参考。

参考文献

1. 冯时. 中国天文考古学(第 3 版)[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2017.
   Feng S. Astroarchaeology in China (3rd Ed)[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2017.
2. 冯时. 殷卜辞月食资料的整理与研究[J]. 古籍整理研究学刊, 2002, 6: 8-19.
   Feng S. Review and study on the lunar eclipse data recorded in the Yin period oracle bone inscription[J]. Journal of Ancient Books Collation and Studies, 2002, 6: 8-19.
3. 张培瑜. 日月食卜辞的证认与殷商年代[J]. 中国社会科学, 1999, 5: 172-198.
   Zhang P Y. The identification of oracle bone inscriptions related to solar and lunar eclipses and the Shang dynasty dating[J]. Social Sciences in China, 1999, 5: 172-198.
4. 夏商周断代工程专家组. 夏商周断代工程 1996—2000 阶段成果报告（简本）[M]. 北京：世界图书出版公司，2000.
   Expert group of the Xia-Shang-Zhou Chronology Project. 1996-2000 Achievement Report of the Xia-Shang-Zhou Chronology Project (simplified version)[M]. Beijing: World Book Publishing Company, 2000.
5. Konopliv S, Asmar S W, Folkner W M, et al. Mars high resolution gravity fields from MRO, Mars seasonal gravity, and other dynamical parameters[J]. Icarus, 2011, 211: 401–428.
6. 韩延本. 由古代天象记载研究揭示的地球自转变化的两个重要现象[J]. 地球物理学进展, 1996, 11(4): 116-118.
   Han Y B. Two interesting phenomena in variation of the Earth’s rotation derived from studies of records of ancient astronomical observations[J]. Progress in Geophysics, 1996, 11(4): 116-118.
7. Morrison L V, Stephenson F R. Historical values of the Earth's clock error ΔT and the calculation of eclipses[J]. Journal for the History of Astronomy, 2004, 120: 327-336.
8. 马利华，韩延本，尹志强，乔琪源. 基于现代天文行星历表的仲康日食研究[J]. 天文研究与技术.2020, https://doi.org/10.14005/j.cnki.issn1672-7673.20201021.001
   Ma L H, Han Y B, Yin Z Q, Qiao Q Y. Research on Zhongkang solar eclipse based on

modern astronomical planetary ephemeris[J]. Astronomical Research & Technology. 2020, https://doi.org/10.14005/j.cnki.issn1672-7673.20201021.001
9. Williams J G, Boggs D H, Folkner W M. DE421 lunar orbit, physical librations, and surface coordinates, 2008, http://naif.jpl.nasa.gov/pub/naif/generic_kernels/spk/planets/de421_lunar_ephemeris_and_orientation.pdf
10. Huber P J. Modeling the length of day and extrapolating the rotation of the Earth[J]. Journal of Geodesy, 2006, 80(6): 283-303.
11. 唐汉良，余宗宽，沈昌钧. 日月食计算[M]. 南京：江苏科学技术出版社, 1980.
Tang H L, Yu Z K, Shen C J. Calculation of Solar and Lunar Eclipses[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1980.

Research on Lunar Eclipses in the Yin Period Oracle Bone Inscription Based on Modern Astronomical Planetary Ephemeris

Ma Lihua[1], Han Yanben[1], Qiao Qiyuan[1], Sun Xizong[2]

(1. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Weifang No. 1 Middle School of Shandong, Weifang 261205, China)

Abstract: There are five lunar eclipses with the heavenly stems-earthly branches dating in the Yin period oracle bone inscription, which are the most conclusive materials known for astronomical dating during the period of the Shang dynasty. The Xia-Shang-Zhou Chronology Project has given the date of occurrence of these lunar eclipses. The authors uses the DE422, modern astronomical planetary ephemeris released by NASA's Jet Propulsion Laboratory (JPL) to calculate main parameters of these lunar eclipses and study their observations on the Earth. The visibility of these lunar eclipses in Anyang, capital of the Shang dynasty, is further confirmed. The results support the date of theses lunar eclipses given by the Xia-Shang-Zhou Chronology Project and provide a certain reference for the in-depth study of the lunar eclipses in Yin period oracle bone inscription.

Key Words: Yin period oracle bone inscription; modern astronomical planetary ephemeris; lunar eclipse